

# Kontroll av projekterade tjocklekar på sättnager och sätt- och fogmaterialets kornstorleksfördelning i överbyggnader i Malmö

*Daniel Isgren*



# **Kontroll av projekterade tjocklekar på sättlager och sätt- och fogmaterialalets kornstorleksfördelning i överbyggnader i Malmö**

**Measuring the thickness of bedding layer and grain size proportions of bedding layer and joints compared to planned values on selected sites in Malmö**

*Daniel Isgren*

**Handledare:** Kurt Johansson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Examinator:** Åsa Bensch, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** G2E

**Kurstitel:** Examensarbete i teknologi för landskapsingenjörer

**Kurskod:** EX0791 **Program:** Landskapsingenjörsprogrammet

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2020 **Omslagsbild:** Kurt Johansson 2017

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** sättlager, fogmaterial, kornstorleksfördelning, överbyggnad, bärlager, halvelastisk beläggning, naturstenshällar

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur,  
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap  
Institutionen för landskapsarkitektur,  
planering och förvaltning

## Abstract

When surfaces that are paved with natural stone slabs or concrete paving stones are inspected by the client they have the right to “perform whatever control regarding the contract he deems necessary” (Byggandets kontraktskommitté, 2014). However, the client more often settles with just an ocular inspection, which means the client relies on the contractor’s own quality control to guarantee that the contract is carried out accordingly.

This paper’s purpose is to compare the construction of the pavement structure to the contract’s specifications by examining a number of pavement structures in Malmö. Only the bedding layer directly under the surface layer was measured in order to not disturb the deeper load bearing layers. The evenness of the bedding layer provides an estimation of how even the underlying layers are.

The examination was performed at 5 locations in central Malmö. The traffic could not be redirected or obstructed and the size of the slabs were limited to what one person can lift. The examined locations are therefore only representing traffic class G/C (pedestrian and bicycle traffic only).

Measuring the bedding layer is done by lifting a slab out of the surface course and digging carefully through the bedding layer until the base course is exposed. The thickness of the bedding layer can then be sufficiently measured. Material samples were taken from the bedding layer and joint material, which were sieved and analyzed.

The results show that only 2 out of 14 measurements are within the contract’s tolerances for the bedding layer. The layers are generally too thick and the grain size proportions of bedding layers and joints are too fine.

These issues will probably not cause any damage to the examined locations because the traffic intensity is only class G/C. They would however be a problem on surfaces with traffic class 1-2, e.g. regular city streets.

The width of the joints were inconsistent and ranged beyond the recommended measurements of AMA 10.

This paper can conclude that the pavement structures at the investigated areas doesn’t meet the contract’s tolerances or the recommendations of AMA 10.

## Sammanfattning

Bärlagret är det översta bärande skiktet i överbyggnaden. När ytor belagda med naturstenshällar och markbetongplattor besiktigas används oftast endast okulär observation trots att beställaren har rätt *”utöva den kontroll över entreprenaden som han anser lämplig”* (Byggandets kontraktskommitté , 2014). Alltså förlitar beställaren sig på att entreprenörens egenkontroll garanterar att anvisningarna följs vad gäller bär- och sättlager.

Arbetets syfte är att undersöka hur väl anvisningarna har följts genom ett antal stickprovskontroller av ytor med naturstenshällar i Malmö och att använda en enkel och ickeförstörande undersökningsmetod.

Arbetet utfördes inom 5 områden och 14 provgrävningar gjordes. Stenhällarnas storlek samt trafikintensiteten var en begränsande faktor då de skulle lyftas för hand av en person samt att inga trafikavspärrningar tilläts. Platserna är därför inte representativa för trafikklass 1-2, d.v.s. gator och vägar. Endast sättlagret undersöktes eftersom ett av syftena med arbetet var att inte påverka de bärande lagren.

Mätning av sättlagrets tjocklek och kommentarer på kornstorleksfördelning på sättmaterial och fog har prioriterats. Mätningen av sättlagertjockleken är enkel men tillräckligt noggrann för detta arbetes ändamål. Fogen kratsas ur och plattan eller stenhällen lyfts ut och blottar sättlagret. En grop grävs igenom sättlagret ner till bärlagrets överyta och därifrån mäts avståndet till sättlagrets överyta. Prover tas på de uppgrävda materialen som efter att undersökningen är gjord kompletteras och läggs tillbaka på dess respektive platser och ytan återställs. Slutligen siktas proverna och kornstorleksfördelningen sammanställs.

Undersökningen visar att endast 2 av 14 mätvärden ligger inom ytornas projekterade toleranser för sättlagertjocklek. 11 av 14 sättlager är tjockare än vad handlingarna anger att de ska vara.

Generellt sett visade sig andelen finmaterial i sätt- och fogmaterial vara för stor jämfört med anvisningarna i AMA 10. Cirka hälften av siktkurvorna ligger inte inom anvisningarnas toleranser.

Dessa brister riskerar inte att skada de undersökta ytorna eftersom ytorna endast är trafikklass G/C (gång och cykeltrafik med enstaka lätta fordon). Om ytorna skulle få en högre trafikbelastning eller om ytor med trafikklass 1 och 2 skulle ha samma brister finns det risk för allvarliga skador då vatten kan bli stående i fogarna, vars finandel pumpas upp av trafiken, med sättningar, kantnagg och spräckta stenhällar som trolig följd.

De uppmätta fogbredderna var bristfälliga och uppvisade en alltför stor variation jämfört med AMA:s anvisningar. Ett antal av de undersökta projekteringarna hade frångått AMA:s rekommendationer om fogbredder och de platsspecifika kraven var i vissa fall orimliga.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att flera av de av branschen föreskrivna anvisningarna och kraven i de undersökta fallen inte har följts.

# Innehållsförteckning

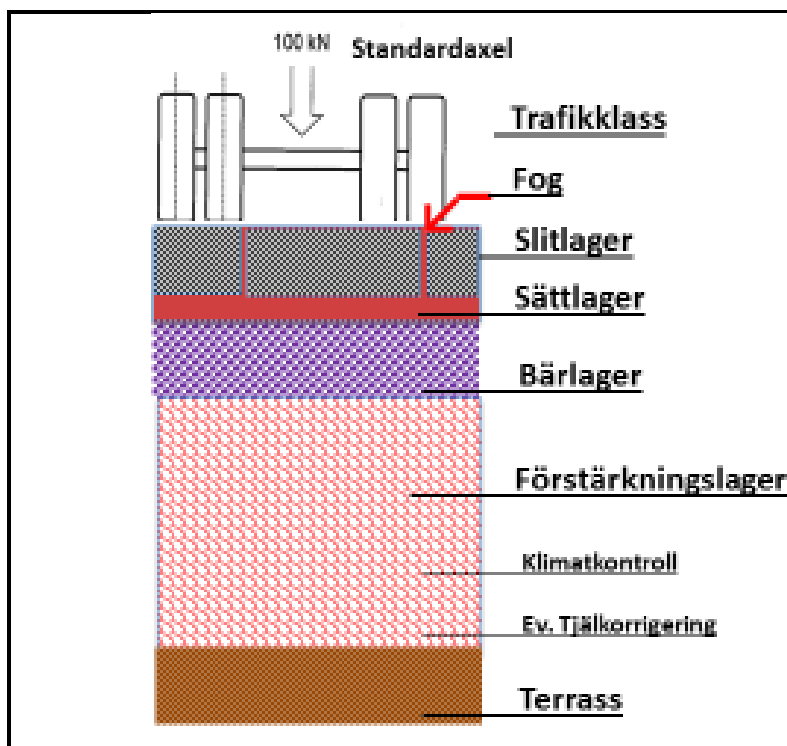
1. Inledning .....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte .....	2
1.3 Avgränsning .....	3
2. Metod .....	4
2.2 Grävning .....	4
2.3 Siktning av fog- och sättmaterial .....	7
3. Litteraturstudie .....	9
3.1 Överbyggnader .....	9
3.1 Sättningar .....	9
3.2 Sättlager .....	10
3.3 Fogar .....	10
3.4 Kontroll .....	10
4. Provgrävningar och analyser .....	12
4.1 Beskrivning av platserna .....	12
4.1.1 Bagers plats .....	12
4.5.2 Malmö Live .....	14
4.5.3 Mäster Johansgatan .....	16
4.5.4 Posthusplatsen .....	18
4.5.5 Malmö Centralstation (Centralen) .....	19
5. Resultat .....	22
5.1 Sättagertjocklek .....	22
5.2 Siktcurvor för fog- och sättmaterial .....	23
5.3 Fogbredder .....	26
6. Diskussion .....	29
6.1 Sättagertjocklek .....	29
6.2 Siktcurvor för fog- och sättmaterial .....	29
6.3 Fogbredder .....	30
6.4 Metodutvärdering .....	30
6.5 Slutreflektion .....	30
7. Källförteckning .....	31

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Detta arbete utgår ifrån hypotesen att gatubeläggningar med natursten och markbetong ibland har en överyta med större buktighet än vad föreskrivande handlingar anger. Detta kan bero på att överbyggnaden under slitlagret är felaktigt utförd.

Bärlagret är det översta bärande skiktet i överbyggnader (se fig. 1). Dess uppgift är att bära trafiklasten och fördela den till underliggande lager. Ovanpå bärlagret läggs sättlagret som har till uppgift att vara en jämn och tunn bädd för slitlagret (plattor, hållar, m.m). Det är viktigt att sättlagret inte utjämnar höjdskillnader i bärlagret (Hellman, 2014). Ändå förekommer det att sättlagret används som ett utjämnande lager ifall bärlagrets överyta inte överensstämmer med föreskriven nivå eller har för stor buktighet. Sättlagret saknar dock bärförmåga. Därför finns det risk för sättningar i beläggningen om sättlagret är för tjockt eller har en för stor tjockleksvariation, se fig. 2.



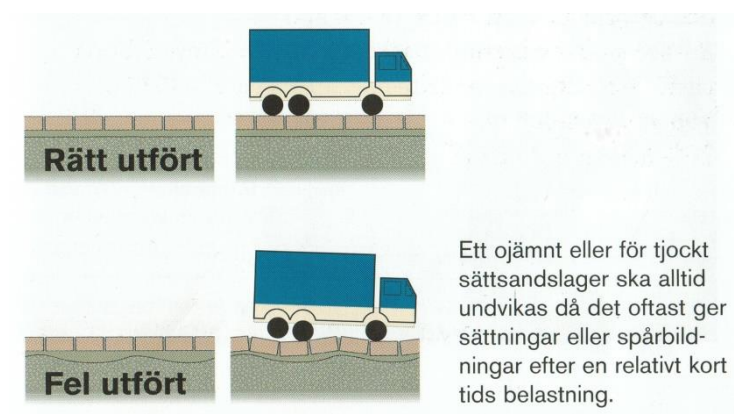
**Figur 1. Ur Dimensionering av urban överbyggnad (Johansson, Lang & Simonsen, 2017)**

Sättlagret ska enligt branschens anvisningar vara 30 mm  $\pm$  10 mm för naturstenshållar och betongplattor och ska inte fungera som ett utjämningslager (Johansson, 2016).

Det har tidigare gjorts en liknande undersökning som antyder att bärlagertjockleken inte håller sig inom dessa toleranser. Beställaren har

dock inte offentliggjort dokumentationen kring denna undersökning enligt vad Kurt Johansson<sup>1</sup> förklarat inför detta arbete.

Felaktigt utförda överbyggnader löper stor risk att skadas av trafiken, vilket leder till ökade kostnader för underhåll och reparationer (se fig. 2). Risken för felaktigheter ökar på grund av att det vanligen finns en entreprenadgräns mellan bärlagret och sättlagret. Det betyder att en entreprenör utför bär- och underliggande lager och en annan entreprenör utför markarbetet, där utläggning av sättlagret ingår.



**Figur 2. Ur Beläggning med plattor och marksten av betong (Svensk markbetong, 2002)**

Kurt Johanssons<sup>2</sup> erfarenheter vittnar om att beställare sällan kräver extern kontroll av överbyggnaden innan slitlagret är utlagt och istället förlitar sig på entreprenörens egenkontroll. Vid slutbesiktningen mäts bara sluthöjden av beläggningsens överyta och ger ingen information om nivån på de underliggande lagren.

## 1.2 Syfte

Huvudsyftet med arbetet är att skapa en grov bild av hur hållbara naturstensytorna är med hänsyn till hur väl de har anlagts, främst i vad mån sättlagret har använts som utjämningslager åt bärlagret.

Ett annat syfte är att utforma en så enkel och ickeförstörande metod för mätning av sättlagret som möjligt.

Detta kan åstadkommas om man känner till sättlagrets dimensioner. Man kan mäta sättlagrets tjocklek genom att fastställa bärlagrets överyta och höjdskillnaden mellan den och undersidan av slitlagret. Man får då en bild av nivån på bärlagrets överyta, utan att gräva bort hela sättlagret.

Hållbarheten bedöms även genom fogbredd och dräneringsförmåga. Det görs genom att mäta fogbredd och fogmaterialets kornstorleksfördelning och

---

<sup>1</sup> Kurt Johansson, bergsingenjör, civilekonom & professor på SLU under handledningsmöte i Malmö den 5 oktober 2018.

<sup>2</sup> Kurt Johansson, bergsingenjör, civilekonom & professor på SLU under handledningsmöte i Malmö den 5 oktober 2018.

jämföra dem med föreskrivande handlingar och med branschens krav och anvisningar.

### 1.3 Avgränsning

Arbetet avgränsas till att främst undersöka naturstenshäll- och betongplattytor på 5 olika platser i Malmö, utvalda i samråd med Malmö stad. Undersökningsområdet kan beskrivas som centrala Malmö. Undersökningarna gjordes under februari 2017.

Endast ytor med plattor och stenhällar i format som är möjliga för en person att hantera kunde i detta arbete undersökas. Ytorna är företrädesvis avsedda för gångtrafik, då det inte fanns möjlighet till avspärrning av vägbanor för detta arbete. Detta innebär att undersökningen inte är representativ för platser med normal stadstrafik, d.v.s. trafikklass 1-2, eftersom trafikbelastningen på undersökningsplatserna är mycket lägre, nämligen trafikklass G/C. Några trafikskador på undersökningsplatserna är därför mindre sannolika även om överbyggnaderna skulle vara felaktigt utförda. Detta arbete bör därför ses som en förstudie på hur den generella kvaliteten är på överbyggnader i Malmö. Beroende på resultatet kan det finnas behov av en utförligare studie på mer trafikintensiva platser där avvikelser i överbyggnaden har en större betydelse för ytans livslängd.

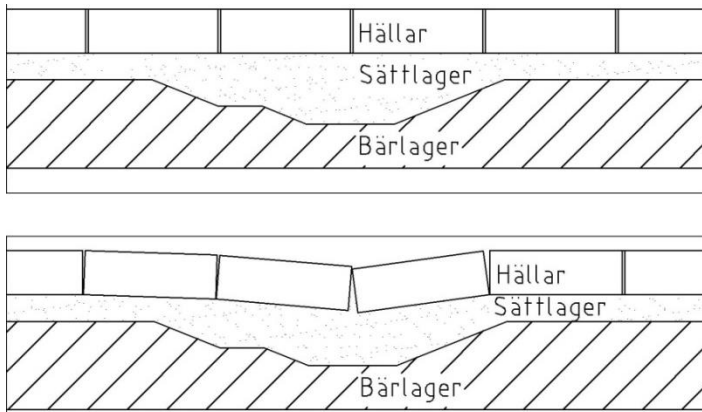
Nedan är en lista på de generella avgränsningar som styrde valet av undersökningsplatser.

- Plattor eller stenhällar ej satta i bruk. Ska enkelt gå att lyfta samt återställa för en person. Sågad undersida (d.v.s. jämntjocka).
- Ska helst vara anlagt inom den närmaste tiden.
- Malmö stad ska godkänna ytorna. Endast gång- och cykeltrafikytor (trafikklass G/C), högre klass kräver avspärrningar.



## 2. Metod

Arbetet baseras på en fältundersökning av ett antal utvalda överbyggnader, samt en litteraturstudie för att sammanfatta kunskapsläget över överbyggnader och dess problem. Platserna valdes ut i samråd med ansvariga på Malmö stads gatukontor. Sättagrets tjocklek mäts för att kunna räkna ut bärlagrets överyta, och därigenom uppskatta hur väl bärlagrets överyta överensstämmer med de föreskrivande handlingarna. Det görs genom att lyfta en beläggningsplatta och gräva en smal grop igenom sättagret ned till bärlagret. Tjockleken på sättagret kan då mätas.



**Figur 3. Illustrationen visar ett schematiskt exempel på hur sättmaterialet kan användas som utjämning av ett oregelbundet bärlager. Övre bilden visar ytan direkt efter anläggandet och undre bilden är efter att ytan trafikbelastats.**

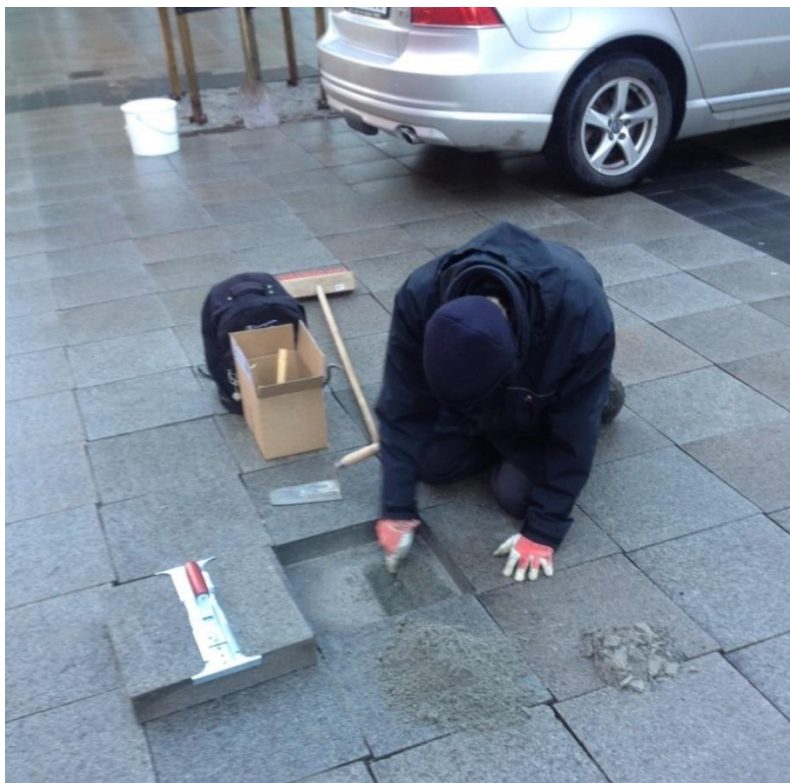
På varje plats tas prover på sätt- och fogmaterial och de siktas för att få fram kornstorleksfördelningen.

### 2.2 Grävning

Grävningen utförs genom att en lämplig stenhäll frigörs från omgivande material på den utvalda platsen. Eftersom storleken varierar är det nödvändigt att välja hällar som går att lyfta med handkraft, se fig. 4. När stenhällen lyfts ur beläggningen grävs en grop i sättmaterialet ned till bärlagrets överyta, se fig. 5. De olika materialen hålls åtskilda. Gränsen är lätt att hitta eftersom materialet och storleksfördelningen i lagren skiljer sig åt. När bärlagrets överyta framträder, se fig. 6, kan tjockleken på sättagret mätas med hjälp av ett plant föremål som riktmärke och en måttstock, se fig. 7. I samband med grävningen mäts bl.a. fogbredd. Fogbredderna mäts inom en radie av ca. 1-2 m av ytan genom att mäta de fogar som är bredast respektive smalast. Efter mätning och provtagning läggs respektive material tillbaka på dess plats och jämnas till. Fogarna kompletteras med fogmaterial.



**Figur 4. Med hjälp av ett specialverktyg kan enskilda plattor lyftas upp.**



**Figur 5. Försiktigt grävs sättlagret ur ned till bärlagrets överyta.**





**Figur 6. Gränsen mellan sättlager och bärlager är tydlig och lätt att hitta.**



**Figur 7. Tjockleken på sättlagret kan mätas med god noggrannhet.**

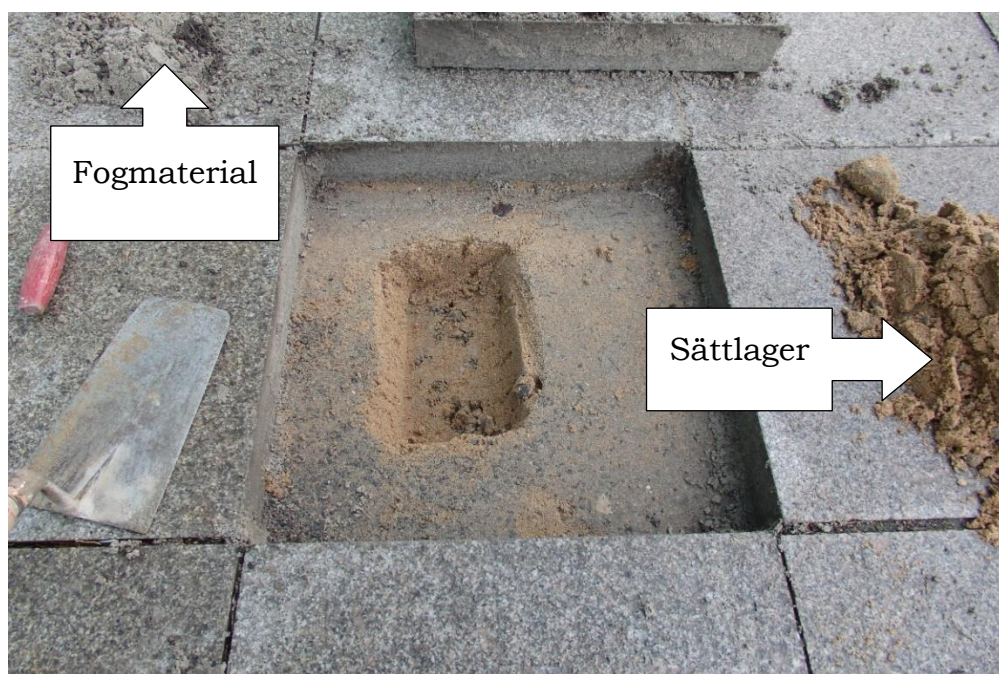
## 2.3 Siktning av fog- och sättmaterial

Proverna från sätt- och fogmaterialet torkas och glödgas därefter i 600°C i tre timmar för att bränna bort organiskt material och eventuellt hårt bundet vatten.

Därefter mortlas proverna för att slå sönder klumpar och aggregat innan siktningen. Proverna siktas och varje kornstorlek vägs för sig, se fig. 9 och 10.

**Tabell 1. Visar siktstorleken på siktarna som användes i arbetet.**

<b>Siktstorlek</b>	
20 mm - 6,3 mm	0,6 mm - 0,2 mm
6,3 mm - 2 mm	0,22 mm - 0,063 mm
2 mm - 0,6 mm	<0,063 mm



**Figur 8. Prover på fog- och sättmaterialet insamlades från varje plats.**





**Figur 9. Det glödgade och klumpfria materialet siktades och vägdes.**



**Figur 10. Proverna bestod av både kross- och naturmaterial.**

### 3. Litteraturstudie

#### 3.1 Överbyggnader

Överbyggnaden inbegriper de material som påförts en yta och vars syfte är att tåla de belastningar och slitage som den tänkta trafiken skapar.

Överbyggnaden består av olika delar som alla fyller en viss funktion enligt Johansson, Lang & Simonsen (2017). Nedan följer en översiktlig beskrivning av de ingående delarna i en överbyggnad enligt fig. 1 (Johansson, Lang & Simonsen (2017)).

- Terrassen är själva marken som, vanligtvis schaktas ur till rätt djup, planhet och ev. lutning och, bär överbyggnaden.
- Förstärkningslagrets uppgift är att förstärka och fördela belastningen till terrassen. Det består vanligen av packat krossmaterial eller naturgrus och ska ha samma lutning som slitytan.
- Bärlagret ska bära trafikbelastningen och ska vara väl packat och ha samma lutning som slitytan. Bärlagret består också av varierande fraktioner av kross- eller naturmaterial.
- Sättagret är ett finkornigt stenmaterial vars enda uppgift är att vara en jämn bädd för slitlagret. Det ska vara tunt och packas ej mer än vad som krävs för att plana ut det till rätt nivå. Sättagret har ingen bärighet.
- Kantstödetts uppgift är att spänna in slitlagret och hindra det från att "flyta ut".
- Slitlagret är den synliga delen och det definerar i dagligt tal ytan såsom t.ex. en "gatstensyta", "betongplattyta" eller "naturstensyta" o.s.v. Slitlagret skyddar överbyggnaden och utgör en slitstark och oftast estetiskt utformad konstruktion.
- Fogen är den sista delen som mellan slitlagrets stenar eller plattor hjälper till att hålla dem på plats och ta upp skjuvningskrafter. Den förhindrar även att det hårda slitlagret, som ofta består av betong eller sten, har direktkontakt och därmed naggar och flisar upp hörn och kanter. Fogarna ska ha rätt bredd och vara väl fyllda.

#### 3.1 Sättningar

Överbyggnaden efterpackas naturligt under dess livslängd. Material kan omlagras, flyttas, brytas ner o.s.v. Detta tas i beräkning vid anläggandet genom att man bygger med en viss överhöjning, d.v.s. att höjden vid slutförd entreprenad ligger över den projekterade slutnivån. Ju större förväntad trafikbelastning desto större överhöjning. T.ex. antas sättningen i en gata över dess livslängd med biltrafik bli 10-20 mm enligt Sveriges Stenindustri (2017) medan sättningen i en gångbana antas bli 5-10 mm. Enligt Hellman (2014) sker det mesta av efterpackningen i sättagret. Det beror på att sättagret normalt inte packas lika noggrant som underliggande lager. Hellman (2014) rekommenderar därför att sättagret görs så tunt som möjligt.

## 3.2 Sättlager

Flera litteraturkällor tar upp problematiken med felaktigt utförda sättlager. Handboken Beläggning med plattor och marksten av betong (Svensk markbetong, 2002) varnar för att ojämnheter i sättagrets tjocklek snabbt orsakar sättningar eller spårbildning.

Sveriges Stenindustriförbund ändrade standardtjockleken för sättlager omkring år 2014 för överbyggnader med naturstenshällar från 50 mm  $\pm$  10 mm till 30 mm  $\pm$  10 mm. Den tidigare sättagertjockleken var motiverad med anledning av att tillverkningen av naturstenshällar hade vidare tjocklekstoleranser än dagens anvisningar. Det gäller endast sågade stenhällar eftersom huggna stenar såsom kalksten och skiffer fortfarande har ansevärd tjockleksvariation.

Det framgick av de byggnadshandlingar som fanns tillgängliga under detta arbete att Malmö Live, Bagers plats, Mäster Johansgatan och Malmö Centralstation har 30 mm som den föreskrivande sättagertjockleken. Posthusplatsen har däremot 50 mm sättlager föreskrivet.

## 3.3 Fogar

Fraktionen och kornstorleksfördelningen på materialet i fogarna spelar roll för hur väl plattorna låser i varandra. Jallow, Johansson och Rolf (2011) spekulerar kring huruvida korn som är lika stora som fogbredden låser hällarna bättre än finare fraktioner. En stor andel finmaterial leder samtidigt till sämre dränering. Stående vatten kan enligt Jallow, Johansson och Rolf (2011) i sin tur skapa en suspension mellan vattnet och fogmaterialet som då pumpas upp ur fogen av vibrationer från trafiken.

Fogmaterialet kan variera mellan naturgrus (fraktion 0-8), makadam (2-4) och stenmjöl (0-4 eller 0-8) till betongkross. Det finns även tillsatser för att stabilisera fogen.

Rekommenderad fogbredd för rektangulära naturstenshällar med sågade sidor är 6 mm  $\pm$  3 mm enligt Sveriges Stenindustriförbund (2017). För betongplattor är fogbredden normalt 3 mm.

AMA anläggnings rekommendationer baseras på det traditionella naturgruset (0-8) som har låg finandel och därmed goda dränerande och låsande egenskaper men som används i allt mindre omfattning eftersom det är en begränsad naturresurs som dessutom blir allt svårare att få tag på. De material som används allt mer är krossat berg respektive krossade restprodukter från återvunnen betong.

## 3.4 Kontroll

Kvalitetskontroll av bär- och sättlager ingår normalt i entreprenörens ansvar i form av egenkontroll. AB04 (Byggandets kontraktskommitté, 2014) ger beställaren rätt att själv utöva den kontroll som den finner nödvändig, men

denna möjlighet utnyttjas sällan menar Kurt Johansson<sup>3</sup>, som har erfarenheter inom besiktningsbranschen. AB04, eller Allmänna Bestämmelser, innehåller juridiska avtal för upphandlingar och entreprenader utarbetade av Byggandets kontraktskommitté.

---

<sup>3</sup> Kurt Johansson, bergsingenjör, civilekonom & professor på SLU under handledningsmöte i Malmö den 5 oktober 2018.



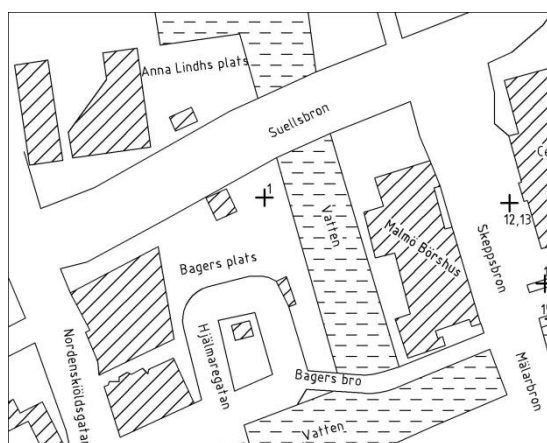
## 4. Provgrävningar och analyser

Grävningarna utfördes i februari 2017. 5 olika platser i Malmö undersöktes och ett varierande antal provgrävningar gjordes på varje adress beroende på bl.a. svårigheten att finna lämpliga stenhällar och att lyfta dem. Då sättlagret uppvisade ojämnheter eller varierande tjocklekar gjordes fler grävningar för att få ett mer rättvisande genomsnitt. Tyvärr var vissa stenhällar så tunga och svåra att lyfta att endast en grävning kunde utföras. Då sättlagret var blottat kunde grävningen snabbt utföras genom att sättmaterialet grävdes bort, i detta fallet med en murarspade, varpå höjden kunde mätas mellan sättlagrets och bärlagrets överyta. Avståndet mellan dessa punkter visar tjockleken på sättlagret och hur noggrant och jämnt det har anlagts och avvikelser tyder på felaktigheter längre ner i överbyggnaden.

### 4.1 Beskrivning av platserna

Här nedan följer översiktliga beskrivningar över platserna där undersökningarna skedde. Illustrationerna visar de ungefärliga platserna för grävningarna, se fig. 11, 14, 18, och 24. Fotografier med ID-littera hänvisar till vilken provgrävning som är fotograferad, se tabell 2.

#### 4.1.1 Bagers plats



**Figur 11. ID 1.**

Bagers plats är till största delen belagd med naturstenshällar och fungerar som sidoentré samt cykelparkering till Malmö Centralstation. Den undersökta ytan tillhör en anslutningsyta till en närliggande cykelbana och är belagd med 350x350 mm betongplattor (60 mm tjocka) i halvförband. Många plattor är spräckta och sättlagret består av stenmjöl. Det är troligtvis byggt på bjälklag då den underjordiska stationsentrén samt ett parkeringsgarage ligger alldeles intill. Bagers plats byggdes om mellan åren 2010 och 2012.

Bagers plats valdes inledningsvis ut för att testa undersökningsmetoden som, om den visade sig fungera, skulle användas till examensarbetet. Det första försöket med att lyfta ur naturstenshällarna misslyckades då fogarna var väl packade och för smala för verktygen. Istället undersöktes betongplattytan intill som dessutom uppvisade flera skador från trafik, se

fig. 12. Undersökningen av betongplattorna fungerade väl och följdes av resterande undersökningar.

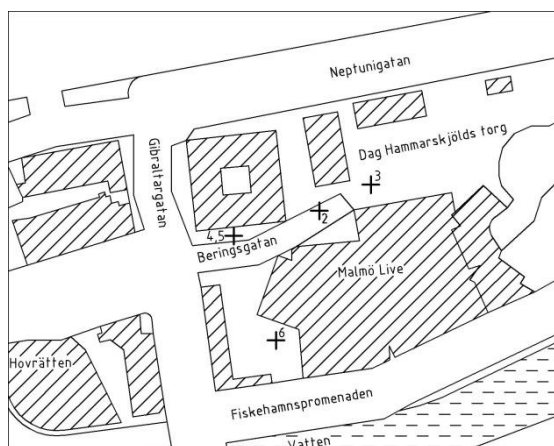


**Figur 12. ID 1. Nordligaste delen av Bagers plats. Nedgången till Centralstationen i bakgrunden. Bilden är tagen efter grävning och återställning.**



**Figur 13. ID 1. Sättagret av stenmjöl är mycket hårt packat under betongplattorna på Bagers plats.**

#### 4.5.2 Malmö Live



**Figur 14. ID 2-6.**

Proverna togs från 4 olika områden inom kvarteret som kallas Malmö Live, se fig. 14. Samtliga platser är belagda med naturstenshällar i varierande material och dimensioner. Den första ytan (ID 2) är öppen att trafikeras av personbilar och varuleveranser, se fig. 15. Byggkranar och annan trafik från byggandet av Malmö Live har p.g.a. svängrörelser skjuvat plattmönstret svårt vilket underlättats av kvadratiska plattor med genomgående, och dåligt fyllda, fogar. Uppgifterna om skadorna från byggtrafiken kommer från byggnadsarbetares vittnesmål på plats. Sättagret består av krossad betong.

Prov ID 3 togs på en yta som är identisk med ID 2 förutom att den främst är trafikerad av gående och cyklister.

Prov ID 4, se fig. 16, och ID 5 togs på en gångbana med trädplanteringar. Överbyggnaden består av skelettjord. Sättagret består här av natursand.

Prov ID 6 togs på en yta som är avsedd endast för gående. Överbyggnaden består av skelettjord och en mängd trädplanteringar är utspridda över platsen. Sättagret består av natursand.





**Figur 15. Malmö Live, ID 2. Plattorna har skjuvats kraftigt p.g.a. bl.a. genomgående fogar i alla riktningar, dåligt fyllda fogar och byggkranars och annan tung byggtrafiks svängrörelser. Sättningslager och fog är betongkross.**

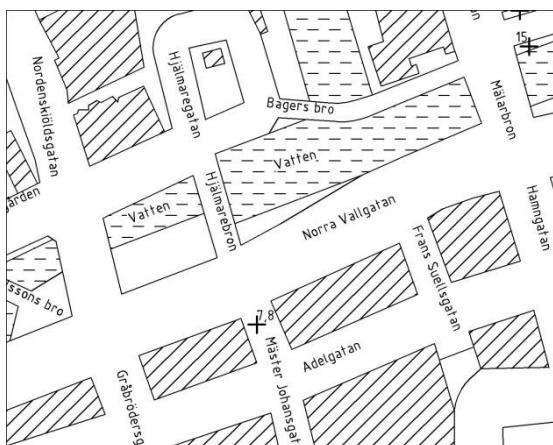


**Figur 16. Malmö Live, ID 4. en gångbana i anslutning till Malmö live. Det finns inga tecken på skador här. Det är troligtvis minimalt med trafik på denna yta eftersom trädplanteringarna effektivt hindrar större fordon från att köra här.**



**Figur 17. Malmö Live. ID 4. Ytan är snarlik den vid ID 2 bortsett från att sättlagret består av naturgrus och inte betongkross.**

#### 4.5.3 Mäster Johansgatan



**Figur 18. ID 7 och 8.**

Mäster Johansgatan är en gågata. Den trafikerar trots detta regelbundet av motorfordon. Körbanan består av naturstenshällar i fallande längder och sättmaterialet består till största delen av naturgrus blandat med stenmjöl. Stenbeläggningen på Mäster Johansgatan är det kraftigast dimensionerade slitlagret i undersökningen med en stentjocklek på 100 mm. Det gjorde det mycket svårt att lyfta ut stenhällarna ur beläggningen och endast en sten kunde lyftas på denna plats. De två ID-littera på denna plats beror på att sättlagret bestod av två tydligt olika material, se fig. 20, varav det togs siktningsprover.





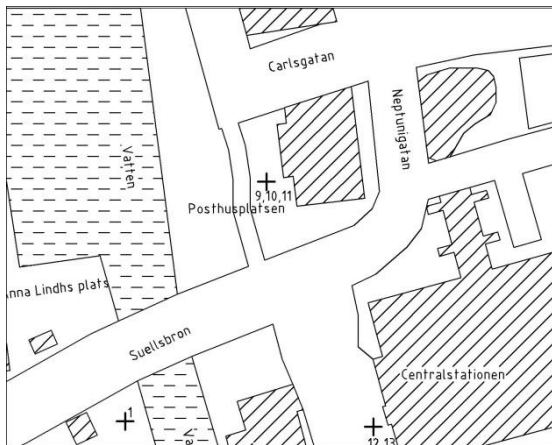
**Figur 19. Mäster Johansgatan. ID 7 (och 8, vilken är samma grävning som ID 7). Det var mycket svårt att lyfta ut naturstenshällen ur beläggningen. Stenkornen i fogen var väl fastkilade mellan hällarna.**



**Figur 20. Mäster Johansgatan. ID 7 och 8. Sättagret är en blandning av olika material. Två prover togs för siktning, därav de dubbla ID-littera.**



#### 4.5.4 Posthusplatsen



**Figur 21. ID 9-11.**

Posthusplatsen är en öppen torgliknande yta till största delen belagd med naturstenshällar i fallande längder. Torget byggdes om 2014 då den nuvarande beläggningen anlades. Huvudytan korsas av en cykelbana samt detaljer i marktegel. Förutom att vara tänkt som en rekreationsyta och mötesplats används torget även till evenemang såsom konserter. Stenhällarnas långsidor är klippta vilket gör de genomgående fogarna bredare medan övriga sidor är sågade. Sättagrets tjocklek skiftar något mellan provgroparna. Det är blandat natur- och krossmaterial. Tre stickprover (ID 9-11) togs på torget med drygt en meters inbördes avstånd från varandra.

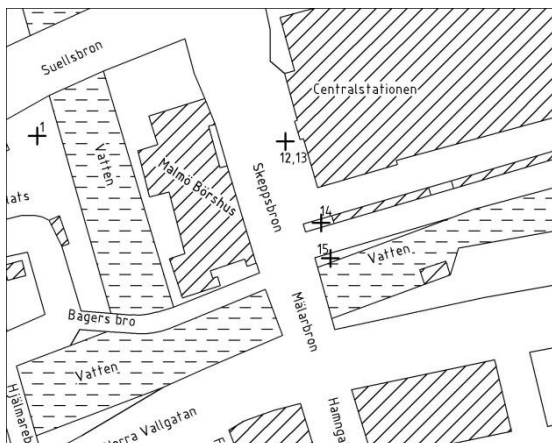


**Figur 22. Posthusplatsen. ID 9, 10 och 11. Detta torg hyser mest gång- och cykeltrafik men används också i samband med malmöfestivalen då bl.a. scener för musikarrangemang byggs upp på torget.**



**Figur 23. Posthusplatsen. ID 11. Denna undersökningsgrop avslöjade en sättlagertjocklek som stämde väl överens med branschens anvisningar (30 mm), fastän den projekterade tjockleken är 50 mm.**

#### 4.5.5 Malmö Centralstation (Centralen)



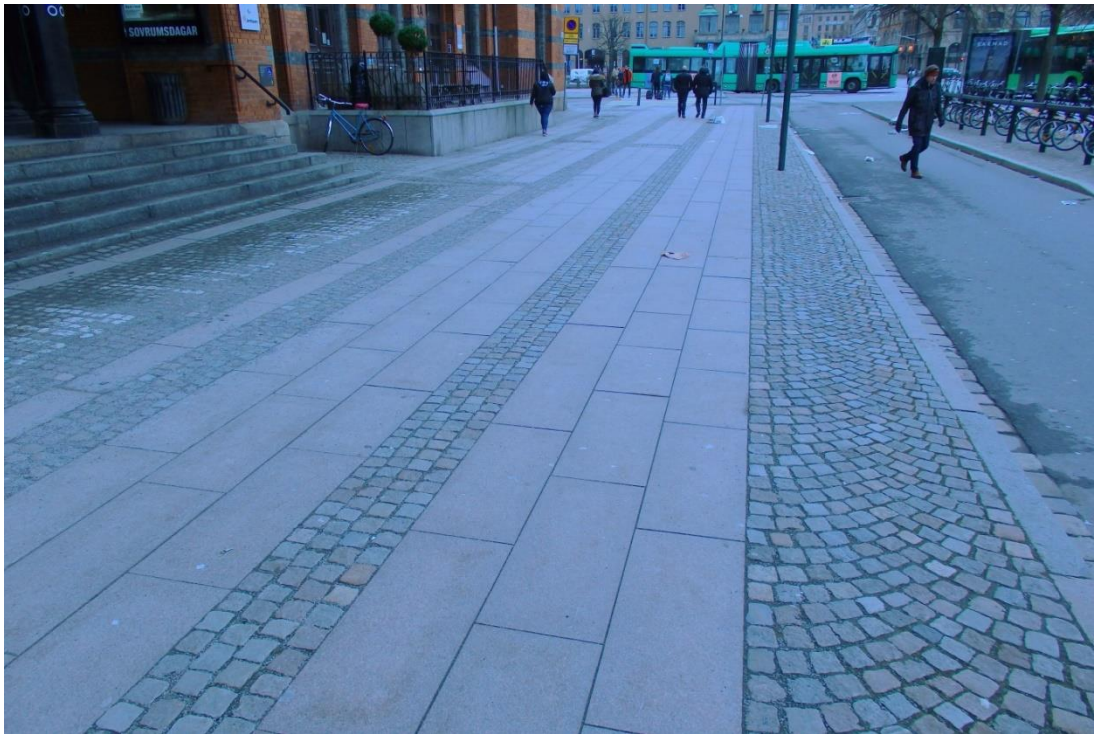
**Figur 24. ID 12-15.**

Tre olika områden inom Malmö Centralstation, även kallad Centralen, undersöktes, se fig. 24. ID 12 och 13 representerar en gångbana bestående av naturstenshällar i fallande längder på ett sättlager av naturgrus. Lister av smågatsten löper längs med gångbanan och delar upp stenhällsmönstret, se fig. 25.

Den andra ytan (ID 14) är en gångbana med naturstenshällar i fallande längder utan gatstenslister där enstaka hällar är knäckta, se fig. 27.

Den tredje ytan (ID 15) är en gångbana som löper parallellt med kanalen och är till synes identisk med den föregående platsen för ID 14.





**Figur 25. Malmö Centralstation. Ytan där ID 12 och 13 togs. Till vänster ses Centralstationens entré mot Skeppsbron.**



**Figur 26. Malmö Centralstation. ID 13. Denna plats (Centralstationens entré) sticker ut i undersökningen i och med att sättagret är nästan 150 mm tjockt.**



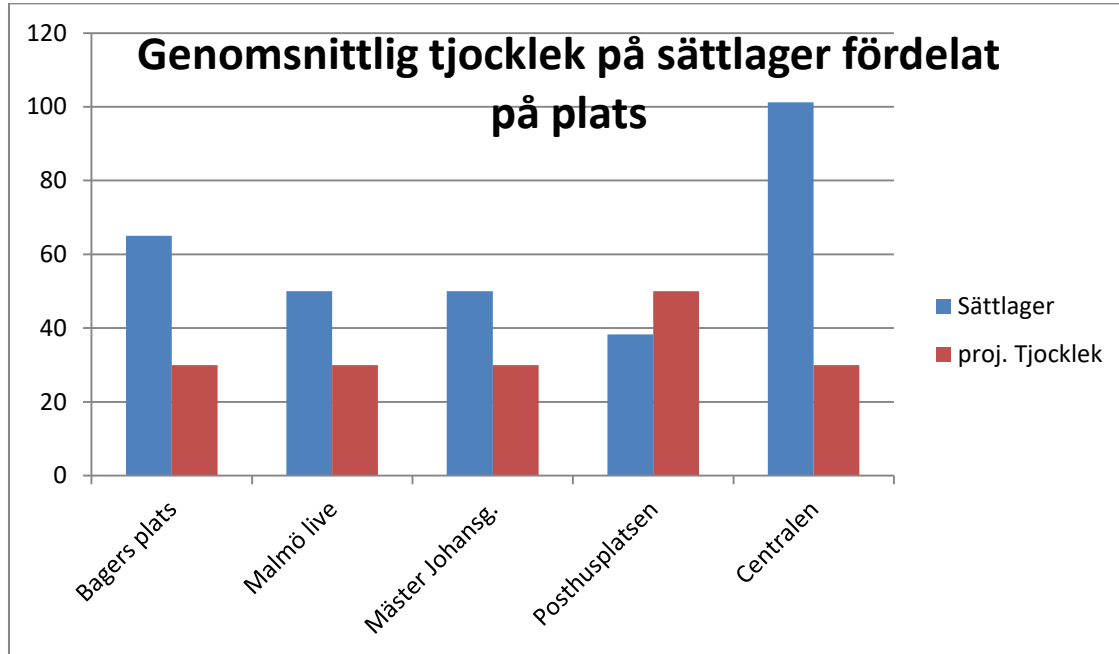
**Figur 27. ID 14 togs på bussperrongen som löper längs med Centralstationens sydsida. Trots 80 mm tjocka naturstenshällar och i princip fritt från trafik så är ett antal hällar spruckna, vilket gjorde det möjligt att lyfta de annars mycket tunga hällarna.**



## 5. Resultat

I följande avsnitt jämförs den insamlade datan från provgrävningarna och siktningarna med respektive plats projekterade värden.

**Tabell 1. Genomsnitt av sättlagrens tjocklek fördelat på adress. Projekterade tjocklek i rött.**



### 5.1 Sättlagertjocklek

Vid utförandet är toleransen  $\pm 10$  mm för sättlager. De tillåtna variationerna ska därför hålla sig inom 20-40 mm respektive 40-60 mm beroende på den projekterade tjockleken (Sveriges Stenindustriförbund, 2017). På de undersökta ytorna håller sig endast 2 av 14 undersökta sättlager inom tjocklektoleranserna. Generellt är sättlagren tjockare än vad handlingarna anger, se tabell 2.

**Tabell 2. Samtliga sätt- och slitlagertjocklekar och dess projekterade värden.**

ID	adress	typ	slitlager	slitlager nominell tjocklek	sättlager mätning	sättlager projekterad tjocklek
1	Bagers plats	torg	btg-platta	60	65	30
2	Malmö Live	vändplats	stenplatta	80	75	30
3	Malmö Live	torg	stenplatta	80	25	30
4	Malmö Live	gångbana	stenplatta	60	50	30
5	Malmö Live	gångbana	stenplatta	60	50	30
6	Malmö Live	torg	stenplatta	60	50	30
7	M. Johansg.	vägbana	stenhäll	100	50	30
8*	M. Johansg.	gäller samma mätpunkt som ID 7.				
9	Posthuspl.	torg	stenhäll	100	50	50
10	Posthuspl.	torg	stenhäll	100	30	50
11	Posthuspl.	gångbana	stenhäll	100	35	50
12	Centralen	gångbana	stenhäll	80	145	30
13	Centralen	gångbana	stenhäll	80	145	30
14	Centralen	gångbana	stenhäll	80	70	30
15	Centralen	gångbana	stenhäll	80	45	30

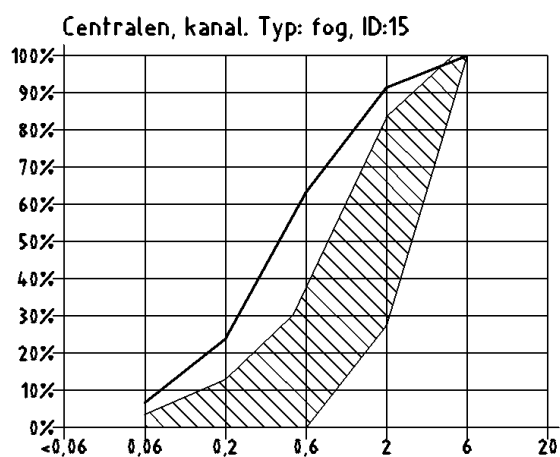
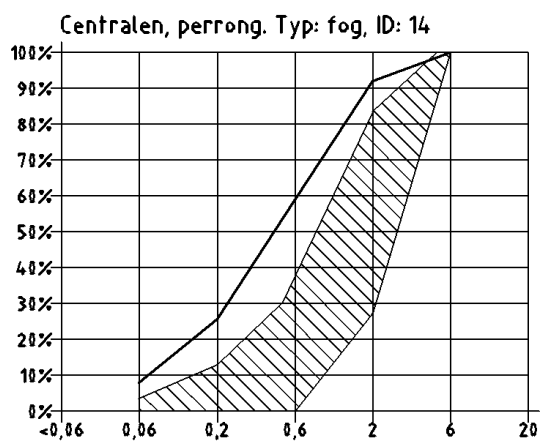
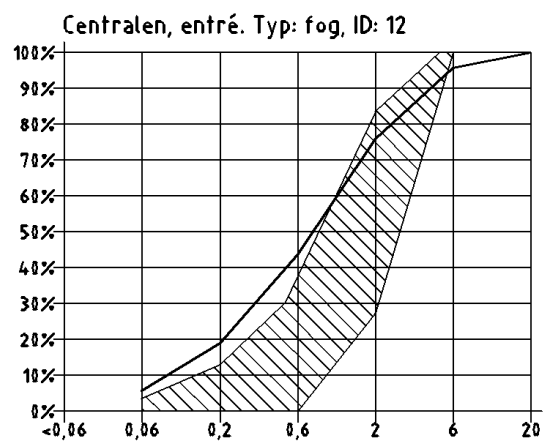
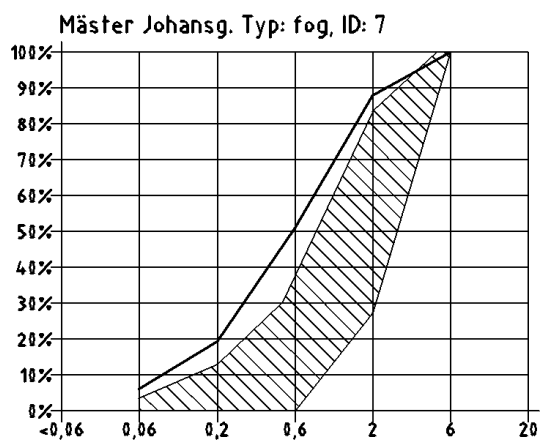
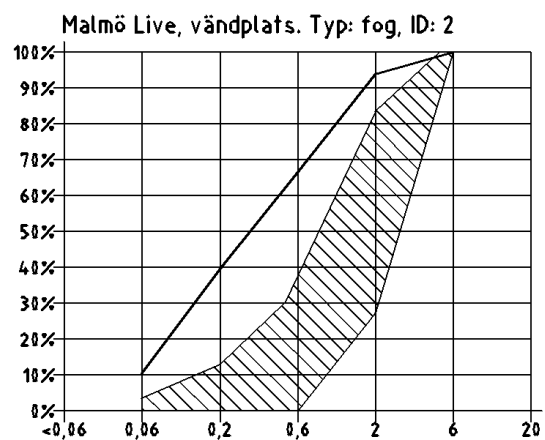
## 5.2 Siktkurvor för fog- och sättmaterial

Siktningen av de olika sättlagermaterialen visar att naturgrusfraktionerna ligger närmare AMA-rekommendationen för sättmaterial än vad stenhjulet och betongkrossen gör, se tabell 4. Stenhjulet och betongkrossen innehåller mer finmaterial som bl.a. hindrar dränering.

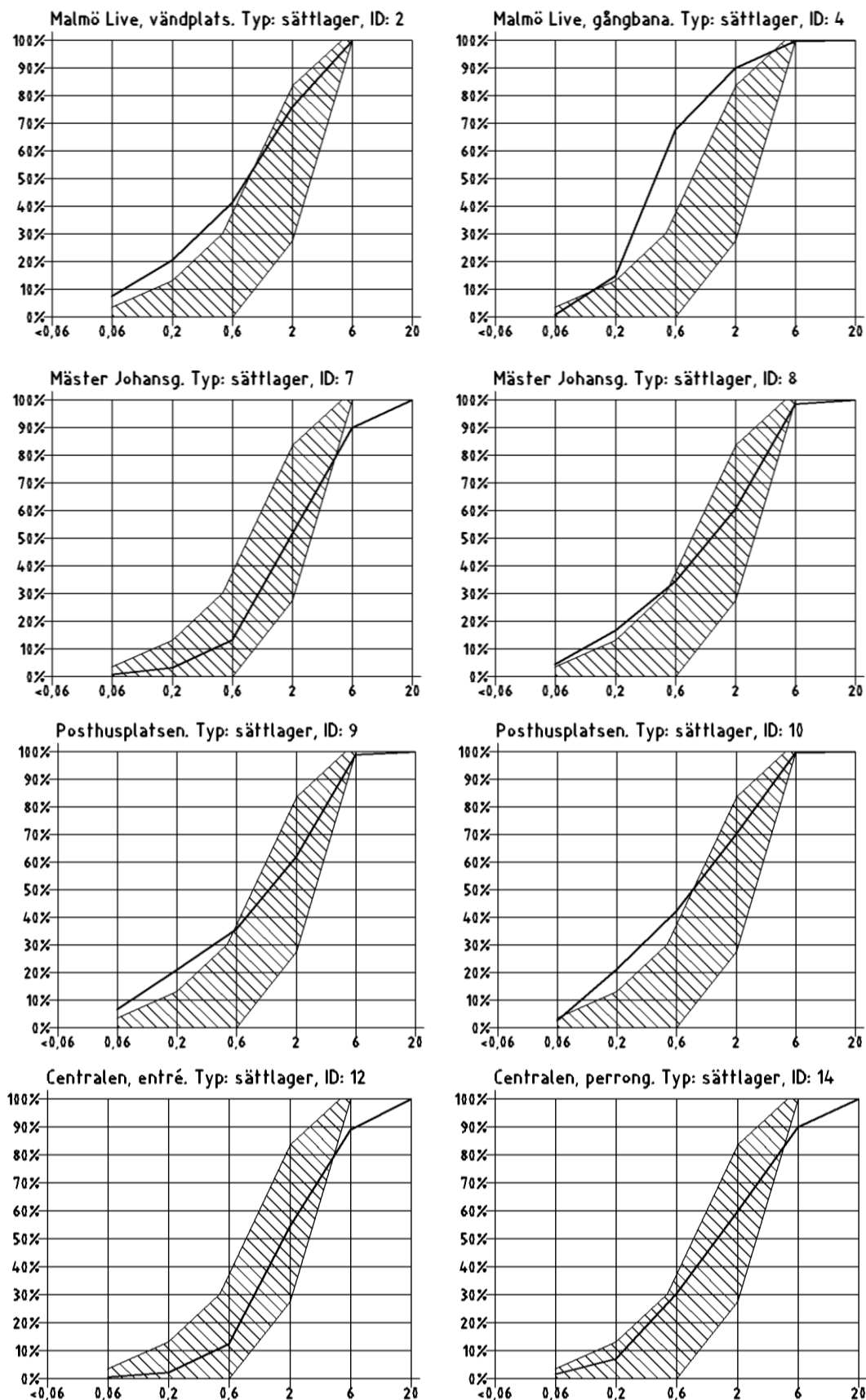
Det undersökta fogmaterialet är generellt mer finkornigt än vad anvisningarna i AMA rekommenderar, se tabell 3. På Malmö Live bestod fogmaterialet av krossad betong. Siktningen visar att betongkrossen är betydligt finkornigare än rekommendationerna.

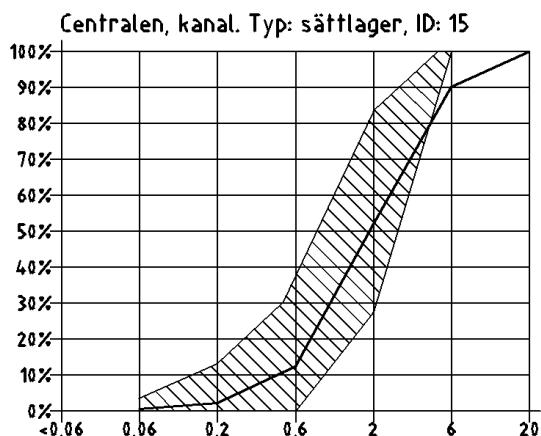
Det streckade området i siktkurvorna, se tabell 3 och 4, är den rekommenderade standarden enligt Anläggnings-AMA, som för övrigt är densamma för sätt- som fogmaterial.

**Tabell 3. Siktcurvor för fogmaterialet på de undersökta platserna. Det streckade området i diagrammen är den rekommenderade kornstorleksfördelningen enligt AMA 10. Den heldragna linjen visar det uppmätta värdet för siktningen.**



**Tabell 4. Siktcurvor för sättmaterialet på de undersökta platserna. Det streckade området i diagrammen är den rekommenderade kornstorleksfördelningen enligt AMA 10. Den heldragna linjen visar det uppmätta värdet för siktningen.**





### 5.3 Fogbredder

Fogbredden för de slitlagerstyper som undersökts i detta arbete, d.v.s. för sågade rektangulära naturstenshällar och kvadratiska plattor, är 6 mm  $\pm$  3 mm enligt branschens föreskrifter (Sveriges Stenindustriförbund, 2007).

Projekteringen för Malmö Live har frångått standarden och föreskriver 5 mm  $\pm$  0 mm, se tabell 5. Posthusplatsen projektering har inte specificerat någon fogbredd och utgår därför från standarden. För resterande undersökningsplatser saknas information om projekterade fogbredder.

Posthusplatsens genomgående fogar är bredare eftersom stenhällarnas långsidor är klippta, sannolikt av estetiska skäl, se fig. 28. Klippta och huggna fogar har bredare rekommenderad fogbredd och togs därför inte med i detta arbete. På Posthusplatsen har distanser använts till kortsidornas fogar för att garantera en minimumfog.

På Malmö Live hade plattmönstret skjuvats, se fig. 29, vilket enligt byggarbetare på plats berodde på att byggkranar och annan tung byggtrafik kört på ytan. På resterande platser fanns inga handlingar om projekterad fogbredd tillgängliga.



**Figur 28. ID 9, Posthusplatsen. De genomgående fogarna har större fogbredd eftersom stenhällarnas långsidor är klippta. Dessa fogar exkluderades därför i arbetet. Distanser användes vid kortsidorna för att garantera en minimumbredd på fogen.**



**Figur 29. Malmö Live. Exempel på skjuvade plattor. Lägg märke till hur fogarna ser "sågtandade" ut. Det orsakas av att ytan inte kan stå emot vridande rörelser från tunga fordon. Undermåliga fogar och läggningsmönster med genomgående fogar ökar risken för fenomenet.**

**Tabell 5. Fogbredder på de undersökta ytorna. Endast fogar mellan sågade stenhällar mättes. Alla stenhällar är rektangulära eller kvadratiska med sågade sidor. På Baggers plats undersöktes betongplattor (35x35 mm). Vissa adresser saknar uppgifter (IU).**

ID	Adress	Typ	Fog min.	Fog max.	Fog projekterad
1	Baggers plats	torg	1	6	3
2	Malmö Live	vändplats	4	6	5 ±0
3	Malmö Live	torg	0	10	5 ±0
4	Malmö Live	gångbana	2	15	5 ±0



5	Malmö Live	gångbana	2	15	5 ±0
6	Malmö Live	torg	5	8	5 ±0
7	M. Johansg.	vägbana	5	10	IU
8	M. Johansg.	vägbana	5	10	IU
9	Posthusplatsen	torg	3	20	6 ±3
10	Posthusplatsen	torg	3	20	6 ±3
11	Posthusplatsen	torg	3	20	6 ±3
12	Centralen	gångbana	2	5	IU
13	Centralen	gångbana	2	5	IU
14	Centralen	gångbana	6	10	IU
15	Centralen	gångbana	3	14	IU

## 6. Diskussion

### 6.1 Sättagertjocklek

7 av 14 mätvärden ligger inom toleransen för en sättagertjocklek på 50 mm, trots att den projekterade tjockleken är 30 mm. Det kan bero på att branschanvisningarna tidigare var just 50 mm sättagertjocklek för naturstenshållar och att utförarna inte har följt handlingarna. Tre av mätningarna gjordes på en yta som projekterats för 50 mm sättagertjocklek, medan två av de tre i verkligheten ligger inom gränsen för en sättagertjocklek på 30 mm. Det är möjligt att utförarna där har följt den senaste branschstandarden eller kommit överens med beställaren om andra tjocklekar på sättagret än vad de föreskrivande handlingarna visar. En annan förklaring kan vara att sättagret används som utjämningslager för att den färdiga ytan ska nå rätt sluthöjd.

Två av mätvärdena från området tillhörande Centralstationen (ID 12 och 13) sticker ut med en tjocklek på 145 mm. Möjligtvis har en avvikelse i höjdsättningen av bärlagret eller en felprojektering gjort att man behövt ändra höjdsättningen när bärlagret redan varit utlagt, vilket då medför att man fyller på sättagret för att utjämna skillnaden.

Generellt i undersökningen är sättagret några centimeter tjockare än vad branschens anvisningar föreskriver vilket skulle kunna leda till större efterpackning och därmed större sättningar. I och med att de undersökta ytorna är trafikclass G/C, d.v.s. endast avsett för gång- och cykeltrafik, har det inte lett till några problem.

En orsak till att sättagret är tjockare än föreskrivande handlingar kan bero på att utförarna bygger med en överhöjning som motsvarar en normalt trafikerad yta även på ytor utan tung trafik, såsom t.ex. en G/C-yta. Ifall beläggningen hade utsatts för tyngre trafik skulle sättagret packas ytterligare ca. 10 mm enligt Sveriges Stenindustriförbund (2017) och därmed skulle sättagreten komma lite närmare de projekterade tjocklekarna.

### 6.2 Siktcurvor för fog- och sättmaterial

Undersökningsplatserna är generellt sett fria från tyngre trafik vilket minskar risken för att fogens och sättagrets finare partiklar "pumpas" bort om det står vatten på ytan och i fogen. Om detta sker försvinner fogmaterialet, stenhällarna lossnar och börjar vicka då de blir överkörda. Vickandet kan då resultera i att även sättagret pumpas upp vid stående vatten och det gör slutligen att stenhällarna helt kommer ur läge och att de sannolikt skadas. Detta problem förvärras om, som i fallet med de undersökta fogarna, fogmaterialet är finkornigare än föreskrivande handlingar då fogarna får sämre infiltrationsförmåga.

Risken för skjuvningsskador är också lägre än för en normalt trafikerad gata (trafikclass 1-2), men en plats uppvisade trots det dylika skador. På vändplatsen vid Malmö Live har lägningsmönstret med genomgående fogar i alla riktningar bidragit till att ytan skadades såsom den gjorts. Möjligtvis

kan fogmaterialets finkornighet ha bidragit till att fogarna inte kunde stå emot svängrorelserna då stenkorn som är nästan eller lika stora som fogen är bred troligtvis låser stenhällarna bättre.

### **6.3 Fogbredder**

Generellt uppvisar fogarna i undersökningen en del brister. Även om det saknas uppgifter för två av platserna ligger måtten utanför Sveriges Stenindustriförbunds rekommendationer (6 mm  $\pm$ 3 för rektangulära stenhällar med sågade sidor). På Malmö Live har man, helt orealistiskt, krävt fogar utan variation i bredd (5 mm  $\pm$ 0). Utförarna har dock inte följt anvisningarna och fogarna lever inte ens upp till de rekommenderade värdena. Även om det är svårt att bedöma hur väl fogarna var utförda innan de förstörts av byggtrafiken på vändplatsen har även de ytor som är omringade av trädplanteringar brister i fogningen. Det tyder på att fogarna på Malmö Live varit undermåliga från början.

### **6.4 Metodutvärdering**

Syftet med arbetet var att dels utforma en enkel och snabb metod för att undersöka hur jämnt sättlagret är och hur det överensstämmer med projekteringen och dels att med denna metod utvärdera ett antal platser i Malmö.

Metoden lyckades med att med små medel och på ett enkelt sätt få fram tillräckligt noggranna tjockleksmått på sättlagret. Nackdelarna är att stickprovspunkterna valdes ut på ett godtyckligt sätt då endast stenhällar som var tillräckligt små kunde lyftas. Detta kan åtgärdas genom att två personer hjälps åt under grävningen och att plattlyftningsverktygen är tillräckligt dimensionerade. Siktning av materialprover är tidskrävande och för att minimera onödigt arbete togs generellt ett materialprov från varje område, om inte materialet uppenbarligen skiljde sig åt mellan provgroparna. Detta ledde till att siktningarna hade sina egna littera eftersom materialen varierade mer än förväntat. Troligtvis skulle materialprovtagningen kunna ha förenklats, t.ex. genom att endast ha en siktkurva var per adress för fog- respektive sättmaterial.

### **6.5 Slutreflektion**

Bristerna i materialval och utförande av överbyggnaderna som arbetet visat tyder på att ansvariga borde använda sin rätt som beställare och utföra noggrannare besiktningar under entreprenadens gång. Det visar sig också att beställaren behöver förbättra sina förfrågningsunderlag, t.ex. ifråga om att använda rätt fogmaterial för rätt plats och att kräva fogbredder som är rekommenderade av branschen. Under arbetets gång har redan vissa ytor vid Malmö Live lagts om och fogmaterialet har bytts ut mot bruk. Det tyder alltså på att om dessa undersökta områden får en ändrad användning med mer trafik så riskerar de att skadas och behöva reparationer och omläggningar.

## 7. Källförteckning

- Boehnke, Harald, 2010. *Paving Stones and Flagstones for our Cities*. Viking Rock.
- Byggandets kontraktskommitté, 2014. *AB04 – Allmänna bestämmelser*. Svensk Byggtjänst.
- Hellman, Fredrik, 2014. *Spårdjupsbildning och styvhet i konstruktioner av betong/ och natursten*. Vinnova –Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer.
- Holgersen & Dam, 2002. *Befæstelser*. Forlaget Grønt Miljø, Fredriksberg.
- Jallow, Johansson & Rolf, 2011. *Fogar Slutrapport till MinBaS II*, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Johansson, Kurt, 2016. *Överbyggnad med naturstens- och markbetongbeläggning – Förenklad dimensioneringsberäkning för trafikklass G/C, 0, 1 och 2 i urban miljö*. Vinnova –Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer rev. 2016-01-02, Stockholm.
- Johansson, Lang & Simonsen, 2017. *Dimensionering av urban överbyggnad*. LTV-rapport. 2017-15-4.
- Malmö Stad, 2014. *Posthusplatsen, Malmö. Mängdförteckning med teknisk beskrivning avseende mark- och VA-arbeten*. Malmö stad, Malmö.
- NovaPlan AB, 2001. *Centralplan, ombyggnad, normalsektioner och detaljer*. 1:50. A1-25863. Malmö stad, Malmö.
- Svensk Byggtjänst, 2010. *AMA anläggning 10*. Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Svensk Markbetong, 2002. *Beläggning med plattor och marksten av betong*. Svenska Kommunförbundet.
- Sveriges Stenindustriförbund, 2017. *Utemiljö*. Kristianstad.
- Tyréns AB, 2017. *Mäster Johansgatan, ny gångata, sektioner*. 1:25. A1-41503. Malmö stad, Malmö.